



УДК 621.039

СОЗДАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ НАТРИЕВОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

THE DESIGN OF A SODIUM STEAM GENERATOR SOLID MODEL FOR THE SIMULATION OF THERMOHYDRAULIC PROCESSES

Цесаренко Иван Алексеевич, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: ivan.tsesarenko@gmail.com, Тел.: +7(905)85-88-272

Орлов Константин Евгеньевич, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: konstantin_orlov_98@mail.ru, Тел.: +7(999)56-51-817

Климова Виктория Андреевна, ст. преподаватель каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.a.klimova@mail.ru. Тел.: +7(953)000-84-00

Ташлыков Олег Леонидович, кан-т техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: otashlykov@list.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Ivan A. Tsesarenko, student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: ivan.tsesarenko@gmail.com, Ph.: +7(905)85-88-272

Konstantin E. Orlov, student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: konstantin_orlov_98@mail.ru, Ph.: +7(999)56-51-817

Viktoriia A. Klimova, senior lecturer, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.a.klimova@mail.ru, Ph.: +7(953)000-84-00

Oleg L. Tashlykov, cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: otashlykov@list.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Аннотация: Представлены особенности парогенераторов, обогреваемых натриевым теплоносителем. Показана важность теплогидравлического моделирования для оптимизации режимов эксплуатации парогенераторов. Описано построение твердотельной модели пароперегревательного модуля парогенератора АЭС с реактором БН-800 для теплогидравлического моделирования в программном пакете SolidWorks.

Abstract: The peculiarities of the sodium-heated steam generators are presented. The importance of the thermohydraulic simulation for the optimization of the steam generators operating modes is shown. Described is the design of a steam superheater unit solid model of the NPP with a BN-800 reactor for the thermohydraulic simulation with SolidWorks software.

Ключевые слова: реактор на быстрых нейтронах; парогенератор; жидкометаллический теплоноситель; твердотельная модель; теплогидравлическое моделирование.

Key words: fast neutron reactor; steam generator; liquid metal coolant; solid model; thermohydraulic simulation.

ВВЕДЕНИЕ

Освоение парогенераторов (ПГ) с натриевым обогревом началось одновременно с освоением реакторов на быстрых нейтронах. Путь от экспериментальных реакторных установок небольшой мощности до промышленных АЭС отмечен большим разнообразием конструкций ПГ. Сложность выбора оптимальной конструкции ПГ связана, в первую очередь, с требованиями безопасности конструкции, обусловленными спецификой жидкометаллических теплоносителей, способных в аварийной ситуации вступать в химическую реакцию взаимодействия с водой-паром с повреждением окружающих конструктивных элементов. В России (СССР) накоплен большой опыт испытаний и эксплуатации парогенераторов с натриевым теплоносителем на установках БОР-60, БН-350, БН-600 [1]. В 2015 г. осуществлен энергетический пуск блока с реактором БН-800, в составе которого эксплуатируется натриевый парогенератор Н-272 модульной конструкции.

ПАРОГЕНЕРАТОР

Парогенератор АЭС с реактором БН-800 (рис. 1) предназначен для генерации перегретого пара заданных параметров в диапазоне нагрузок от 25 до 100 % от номинальной мощности и съема тепла циркуляционной петли в режимах нормальной эксплуатации на мощности, пуска и расхолаживания, а также в режимах с нарушениями нормальных условий эксплуатации [2]. Парогенератор состоит из десяти параллельно включенных по всем рабочим средам секций. Каждая секция состоит из двух модулей – испарителя и пароперегревателя, а также трубопроводов обвязки секций по теплоносителю и рабочему телу (рис. 1).

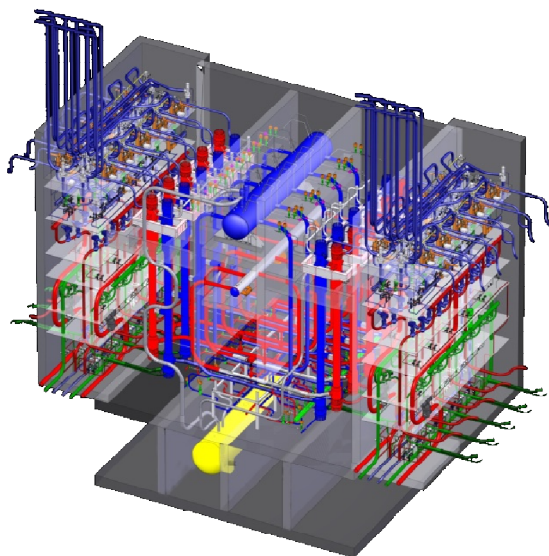


Рис. 1. Парогенератор АЭС с реактором БН-800

Характеристики пароперегревательного модуля даны в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики пароперегревательного модуля парогенератора [2]

Параметр	Значение
Диаметр (наружный) и толщина стенки теплообменных труб, мм	16 x 3
Длина (обогреваемая) теплообменных труб, мм	13600
Шаг теплообменных труб в пучке по треугольной разбивке, мм	33
Число теплообменных труб в пучке, шт.	239
Диаметр (внутренний) кожуха, мм	590
Диаметр отверстий в кожухе, мм	30
Число отверстий в кожухе, шт.	384
Диаметр (внутренний) узкой части корпуса, мм	575
Диаметр (внутренний) широкой части корпуса, мм.	775
Толщина стенки корпуса, мм	30

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ

Твердотельная модель строится для моделирования теплогидравлических процессов в теплообменном оборудовании, в данном случае – в парогенераторе [3, 4]. Поэтому при построении модели были сделаны некоторые допущения – не учитывались некоторые компоненты модуля, предназначенные для монтажа, ремонта и техобслуживания: фланцы патрубков, монтажный люк, болтовые соединения и т. п.

Моделирование проведено в программном комплексе SolidWorks. Модель пароперегревательного модуля состоит из 10 деталей, а именно: верхней и нижней паровых камер с трубными досками, кожуха, пучка теплообменных труб, цилиндрического корпуса модуля, верхней и нижней уплотнительных крышек паровых камер, дистанционирующих решеток (комплект) и теплоизоляции верхней и нижней трубных досок. Все детали модели были созданы с учётом реальных размеров парогенератора, для получения наиболее точных теплогидравлических характеристик. На рис. 2 показан пример детали и ее модели.

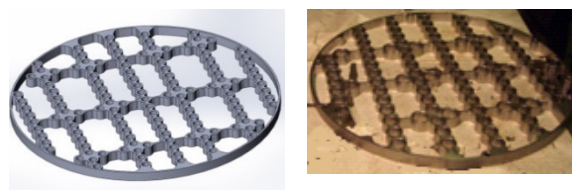


Рис. 2. Модель и фотография дистанционирующей решетки

Детали объединяются в сборку, частично показанную на рис. 3 и 4.

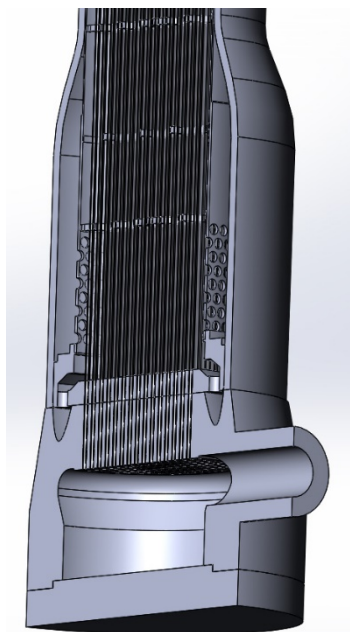


Рис. 3. Нижняя часть модели пароперегревательного модуля (паровая, натриевая камеры, нижняя трубная доска, теплообменные трубы, кожух)

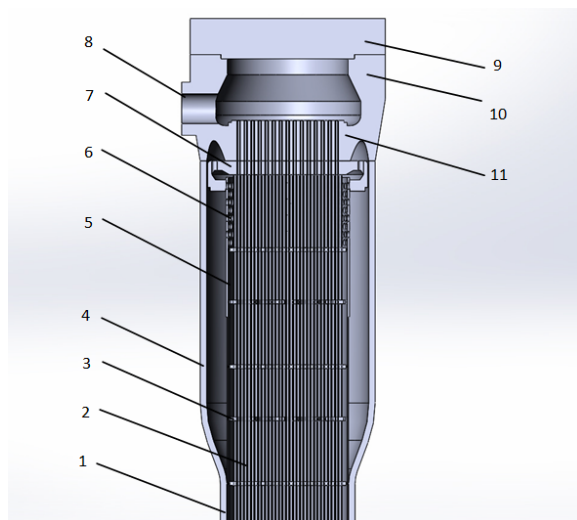


Рис. 4. Модель верхней части модуля пароперегревателя: 1 – цилиндрическая часть корпуса модуля; 2 – теплообменные трубы; 3 – дистанционирующая решетка; 4 – натриевая камера; 5 – кожух; 6 – зона перфорации; 7 – теплоизоляция трубной доски; 8 – патрубок пара; 9 – уплотнительная крышка паровой камеры; 10 – паровая камера; 11 – трубная доска

При создании модели учитывалась возможность изменения геометрии проточной части, создания дополнительных деталей или изменения существующих. Таким образом, на данной модели можно будет провести моделирование не только штатного режима работы пароперегревателя, но также работы при исключении течения в части трубок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теплогидравлическое моделирование процессов, протекающих в теплообменном оборудовании и системах АЭС, в частности в натриевых парогенераторах, позволяет проанализировать влияние различных режимов эксплуатации на поддержание номинальных параметров теплоносителя и рабочего тела, выявить недостатки проектирования, оптимизировать технологический процесс генерации пара, подаваемого на турбину. Разработка твердотельной модели, представленная в докладе, является необходимым этапом в планируемом комплексе работ по анализу работы натриевого парогенератора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ташлыков О.Л. Технологии ремонта парогенерирующей установки: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 118 с.
2. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / А.И. Бельтюков, А.И. Карпенко, С.А. Полуяков, О.Л. Ташлыков, Г.П. Титов, А.М. Тучков, С.Е. Щеклеин; под общ. ред. С.Е. Щеклеина, О.Л. Ташлыкова. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. 548 с.
3. Ташлыков О.Л., Наумов А.А., Щеклеин С.Е. Моделирование процесса замораживания натрия в трубопроводах с целью оптимизации ремонта реакторных установок на быстрых нейтронах // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2013. № 2. С. 21-26.
4. Климова В.А., Ташлыков О.Л. Компьютерное моделирование теплогидравлических процессов в элементах оборудования АЭС с реакторами на быстрых нейтронах // XIII Международная конференция «Безопасность АЭС и подготовка кадров- 2013»: тезисы докладов. Обнинск: НИЯУ МИФИ, 2013. С.61-62.